

信号与信息处理
—技术丛书—

人工智能与人工生命

Artificial Intelligence and Artificial Life

曹少中
涂序彦 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

信号与信息处理技术丛书

人工智能与人工生命

曹少中 涂序彦 编著

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了人工智能的基本原理、方法及技术，还特别介绍了人工生命等人工智能前沿领域的最新进展。主要内容包括：绪论、知识表示方法、确定性推理、不确定性推理、搜索策略、机器学习、专家系统、分布式人工智能、人工生命、软件人、人工鱼、展望。

本书可作为高等学校相关专业研究生和高年级本科生的教材，也可供从事人工智能领域研究和应用的工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

人工智能与人工生命/曹少中, 涂序彦编著. —北京: 电子工业出版社, 2011. 12
(信号与信息处理技术丛书)

ISBN 978-7-121-14961-0

I. ①人… II. ①曹… ②涂… III. ①人工智能 IV. ①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 222674 号

策划编辑: 董亚峰

责任编辑: 侯丽平

印 刷: 北京天宇星印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 19.5 字数: 499 千字

印 次: 2011 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

“人工智能”学科自诞生已经走过了 50 多年的历程。50 多年来，人工智能的发展经历了不少的争论、困难和挑战，曲折起伏，但在国内外许多科学家百折不挠的努力下，它仍然不断向前发展壮大。人工智能作为一门新兴的交叉学科，其思想、理论、方法和技术已渗透到科学技术的诸多领域和人类生活的各个方面，被誉为 20 世纪三大科学技术成就之一。人工智能是用人工的方法和技术，研制智能机器或智能系统，来模仿、延伸和扩展人的智能。因此，随着信息技术的发展和社会对智能的巨大需求，人工智能将引起越来越多的人的重视，人工生命是人工智能的新发展，开展人工智能与人工生命的研究具有重要意义。

全书共分为 12 章。第 1 章介绍了人工智能的定义、起源与发展，归纳了人工智能的研究方法和研究内容，简要叙述了它的研究应用领域。第 2 章讨论了知识表示的基本概念，简要介绍了各种知识表示方法。第 3 章论述了推理的基本概念，详细讲述了自然演绎推理、归结演绎推理、基于规则的演绎推理等推理方法。第 4 章介绍了可信度方法、主观 Bayes 方法、证据理论等推理方法。第 5 章讨论了状态空间、问题规约等搜索算法。第 6 章简要介绍了机器学习的概念，以及记忆学习、归纳学习、解释学习等基本学习方法。第 7 章介绍了专家系统的概念、基本结构、设计步骤，简要介绍了新型专家系统。第 8 章介绍了分布式人工智能，主要包括多 Agent 技术和移动 Agent 技术。最后，介绍了人工生命的部分内容，第 9 章介绍了人工生命和广义人工生命的概念，简要介绍了人工生命应用。第 10 章介绍了“软件人”的概念和各种模型，着重介绍了“软件人”的应用。第 11 章介绍了人工鱼的概念和模型，重点介绍了“晓媛的鱼”。第 12 章对人工智能和人工生命进行了展望。本书第 1~8 章由曹少中教授编写，第 9~12 章由涂序彦教授编写，最后，由涂序彦教授审阅全书。

本书主要作为计算机、电子信息、控制、机电等相关专业研究生、本科生学习人工智能课程的教材，也可供从事人工智能研究和应用的工程技术人员参考。

本书是作者在多年人工智能教学实践基础上，吸收国内外同类教材、专著和科研论文的精华而形成的一本具有自己特色的教材。在此，谨向这些作者表示感谢！

在本书出版之际，衷心感谢我的导师、中国人工智能学会荣誉理事长、北京人工智能学会名誉理事长、北京科技大学涂序彦教授将我引入人工智能的科学殿堂，多年来，涂老师在人工智能研究领域给予我悉心的指导和帮助。感谢北京印刷学院信息与机电工程学院院长曹鹏教授在本书写作过程中给予的帮助和支持。感谢电子工业出版社的秦绪军主任、董亚峰编辑给予的指导和帮助。张焕英老师，於新华、李丽同学承担了本书的绘图和文字录入工作，在此表示感谢。本书得到“北京市属市管高校人才强教计划资助项目（PHK200907118）”的资助。

由于时间仓促，加之作者水平所限，书中难免存在一些缺点和错误，请各位专家和读者批评指正。

曹少中
2011 年 8 月于北京

序

1988年，根据中国电子工业部的教材编著出版规划，编著了高等学校教材《人工智能及其应用》一书，由电子工业出版社出版。1992年，荣获机械电子工业部电子类专业优秀教材一等奖。内容包括：绪论，知识表达技术，知识推理技术，知识获取技术，人工智能语言，专家系统，智能控制，智能管理，脑模型，智能机，回顾与展望。

2000年，应邀出席中国智能自动化全国学术会议，作“人工智能与人工生命”大会报告，论述了“人工智能”与“人工生命”的相互关系。我认为：人工智能是人工生命的基础，人工生命是人工智能的发展。

2001年，在中国人工智能学会第9届全国人工智能学术年会上，作“广义人工智能”大会主题报告，提出“广义人工智能”的概念，给出了“广义人工智能”的学科体系。

2002年，在北京科技大学举行了中国人工智能学会第一届“人工生命及应用”专题学术会议，作“广义人工生命及其应用”大会主题报告，提出“广义人工智能”的概念，论述了“广义人工智能”的学科架构。

曹少中教授基于有关“人工智能”、“人工生命”的科研与教学工作，进行了总结与提高。师生合作编著了《人工智能与人工生命》一书，也在电子工业出版社出版。有感一首：

人工智能基础好
人工生命发展巧
师生合作善协调
相互结合效率高

中国人工智能学会荣誉理事长、北京人工智能学会名誉理事长
北京科技大学计算机与通信工程学院学术委员会名誉主任

涂序彦

2011年8月24日

目 录

第 1 章 绪论	1	2.4.5 语义网络的推理过程	35
1.1 什么是人工智能	2	2.4.6 语义网络表示法的特征	36
1.1.1 智能的概念	2	2.5 框架表示法	36
1.1.2 人工智能	2	2.5.1 框架的结构	37
1.2 人工智能的产生与发展	3	2.5.2 框架举例	38
1.2.1 孕育期	3	2.5.3 框架表示法的特点	40
1.2.2 形成期	4	2.6 其他表示方法	41
1.2.3 发展期	5	2.6.1 面向对象的表示法	41
1.3 人工智能的研究方法及基本内容	6	2.6.2 过程表示法	42
1.3.1 人工智能的研究方法	6	习题 2	43
1.3.2 人工智能研究的基本内容	8	第 3 章 确定性推理	45
1.4 人工智能的研究领域	10	3.1 推理的基本概念	46
习题 1	16	3.1.1 什么叫推理	46
第 2 章 知识表示方法	17	3.1.2 推理方式及其分类	46
2.1 概述	18	3.1.3 推理的方向	48
2.1.1 什么是知识	18	3.1.4 冲突消解策略	52
2.1.2 知识的特性	18	3.2 推理的逻辑基础	54
2.1.3 知识的分类	19	3.2.1 谓词公式的解释	54
2.1.4 知识的表示	20	3.2.2 谓词公式的永真性与可满足性	55
2.2 一阶谓词逻辑表示法	21	3.2.3 谓词公式的等价性与永真蕴涵性	55
2.2.1 逻辑基础	21	3.2.4 谓词公式的范式	57
2.2.2 谓词逻辑表示方法	24	3.2.5 置换与合一	58
2.2.3 一阶谓词逻辑表示法的特点	25	3.3 自然演绎推理	59
2.3 产生式表示法	26	3.3.1 自然演绎推理的概念	59
2.3.1 产生式的基本形式	26	3.3.2 利用演绎推理解决问题	60
2.3.2 产生式表示知识的方法	27	3.3.3 演绎推理的特点	61
2.3.3 产生式系统的组成	28	3.4 归结演绎推理	61
2.3.4 产生式系统的推理方式	29	3.4.1 子句	62
2.3.5 产生式表示法的特点	30	3.4.2 Herbrand 理论	63
2.4 语义网络表示法	30	3.4.3 鲁滨逊归结原理	66
2.4.1 语义网络	30	3.4.4 归结策略	68
2.4.2 基本命题的语义网络表示	30	3.4.5 使用归结原理证明问题	71
2.4.3 连接词在语义网络中的表示方法	32	3.4.6 用归结原理求解问题	73
2.4.4 变元和量词在语义网络中的表示方法	33	3.5 基于规则的演绎推理	75
		3.5.1 规则正向演绎推理	76
		3.5.2 规则逆向演绎推理	80

习题 3	83	6.1.1 学习和机器学习	140
第 4 章 不确定性推理	85	6.1.2 机器学习的发展过程	141
4.1 不确定性推理概述	86	6.1.3 学习系统	142
4.1.1 不确定性推理的概念	86	6.1.4 机器学习的主要策略	144
4.1.2 不确定性推理方法的分类	86	6.2 记忆学习	144
4.1.3 不确定性推理中的基本 问题	87	6.3 归纳学习	145
4.2 可信度方法	88	6.3.1 示例学习	146
4.2.1 可信度概念	88	6.3.2 决策树学习	149
4.2.2 C-F 模型	89	6.4 解释学习	153
4.2.3 可信度方法应用举例	91	6.4.1 解释学习概述	154
4.3 主观 Bayes 方法	93	6.4.2 解释学习的基本原理	155
4.3.1 基本 Bayes 公式	93	6.4.3 解释学习的基本过程	156
4.3.2 主观 Bayes 方法及其推理 网络	95	6.4.4 领域知识的完善性	157
4.3.3 知识不确定性的表示	95	6.5 基于案例的推理	157
4.3.4 证据不确定性的表示	96	6.5.1 CBR 系统的特点	158
4.3.5 不确定性的推理计算	97	6.5.2 CBR 系统的体系结构	159
4.3.6 结论不确定性的合成与 更新算法	102	6.5.3 学习方法	160
4.3.7 主观 Bayes 方法应用举例	103	6.5.4 结论	163
4.4 证据理论	108	6.6 案例推理在故障诊断系统中的 应用	163
4.4.1 证据理论的形式化描述	108	6.6.1 案例库的组织	164
4.4.2 证据理论的不确定性推理 模型	113	6.6.2 案例检索策略	166
4.4.3 推理示例	118	6.6.3 故障诊断流程	166
习题 4	121	6.6.4 自行火炮发动机故障 诊断	167
第 5 章 搜索策略	123	习题 6	169
5.1 搜索的基本概念	124	第 7 章 专家系统	170
5.1.1 搜索的概念	124	7.1 专家系统概述	171
5.1.2 搜索的种类	124	7.1.1 专家系统的产生与发展	171
5.2 状态空间搜索	124	7.1.2 专家系统的定义	172
5.2.1 状态空间法	125	7.1.3 专家系统的种类	173
5.2.2 状态空间盲目搜索法	127	7.1.4 专家系统的特点	176
5.2.3 启发式搜索法	129	7.2 专家系统的结构	177
5.3 问题归约法	132	7.2.1 综合数据库	177
5.3.1 问题归约描述	132	7.2.2 知识库	178
5.3.2 与或图表示	133	7.2.3 知识获取	178
5.3.3 AO* 算法	134	7.2.4 推理机	178
习题 5	138	7.2.5 解释器	179
第 6 章 机器学习	139	7.2.6 人-机接口	179
6.1 机器学习的概念	140	7.3 专家系统的设计	179
		7.3.1 开发专家系统的基本 要求	180



7.3.2 专家系统建造步骤	181	9.1.1 生命的概念	227
7.4 新型专家系统	184	9.1.2 人工生命	228
7.4.1 新型专家系统的特征	184	9.1.3 广义人工生命	229
7.4.2 分布式专家系统	185	9.2 人工生命的产生与发展	231
7.4.3 协同式专家系统	187	9.2.1 孕育期	231
7.5 空调机组故障诊断专家系统的 设计	189	9.2.2 形成期	232
7.5.1 专家系统结构	189	9.2.3 发展期	233
7.5.2 系统总体设计流程	189	9.3 人工生命的研究方法及 基本内容	233
7.5.3 知识库的实现	190	9.3.1 人工生命的研究方法	233
7.5.4 推理机的实现	191	9.3.2 人工生命研究的基本内容	234
习题7	193	9.4 人工生命的应用	236
第8章 分布式人工智能	194	9.4.1 基于人工生命的智能 控制系统	236
8.1 概述	195	9.4.2 基于人工生命的拟人智能 管理系统	240
8.1.1 分布式问题求解	195	习题9	244
8.1.2 多 Agent 系统	196	第10章 软件人	245
8.2 Agent 的结构	198	10.1 概述	246
8.2.1 Agent 的基本结构	198	10.1.1 “软件人”的概念	246
8.2.2 反应 Agent 的结构	199	10.1.2 “软件人”的概念 模型	247
8.2.3 慎思 Agent 的结构	199	10.2 “软件人”系统模型	247
8.2.4 混合 Agent 的结构	201	10.2.1 “软件人”系统逻辑层次 结构模型	247
8.3 Agent 通信协议	201	10.2.2 “软件人”系统递阶控制 结构模型	248
8.3.1 Agent 通信与交互模型	201	10.2.3 “软件人”构造分层 体系	249
8.3.2 Agent 通信	202	10.3 “软件人”群体	252
8.3.3 言语行为理论	205	10.3.1 “软件人”群体组织 模型	252
8.3.4 Agent 通信语言	208	10.3.2 系统的管控功能	253
8.3.5 Agent 通信的本体	210	10.3.3 “软件人”群的管理 策略	254
8.4 Agent 协作	211	10.3.4 “软件人”的接口构造 研究	256
8.4.1 协作的功能	211	10.4 “软件人”通信	257
8.4.2 协作的理论	212	10.4.1 常用智体通信模型	258
8.4.3 协作的形式	213	10.4.2 “软件人”通信模型	259
8.4.4 协作的方法	214	10.4.3 “软件人”通信层次结构 与交互模型	260
8.4.5 协作的过程	215		
8.5 移动 Agent	216		
8.5.1 移动 Agent 的结构	216		
8.5.2 移动 Agent 的应用	217		
8.6 多 Agent 柔性车间调度系统	220		
8.6.1 多 Agent 柔性车间调度 模型	220		
8.6.2 仿真实验	223		
习题8	225		
第9章 人工生命	226		
9.1 什么是人工生命	227		





10.5 “软件人”的应用	262	11.3 人工鱼的认知模型	285
10.5.1 基于“软件人”的信息 整合与数据交换	262	11.4 人工鱼的自进化	286
10.5.2 基于“软件人”的决策 信息支持系统模型	265	习题11	289
10.5.3 基于“软件人”情感的 自主非玩家角色模型	267	第12章 展望	290
习题10	271	12.1 “人工智能”发展与“智能科学 技术”产生	291
第11章 人工鱼	272	12.1.1 广义智能	291
11.1 人工鱼的概念	273	12.1.2 高等智能	294
11.2 人工鱼的典范——“晓媛 的鱼”	273	12.1.3 智能科学技术	296
11.2.1 计算机动画的人工 生命方法	273	12.2 广义人工生命及其应用展望	297
11.2.2 “晓媛的鱼”动画 模型设计	277	12.2.1 工程人工生命展望	297
		12.2.2 生物人工生命展望	298
		12.2.3 生物工程人工生命 展望	299
		参考文献	300

第 1 章

绪 论

人工智能是研究机器智能和智能机器的高新技术学科，是一门新思想、新观念、新理论、新技术不断出现的新兴学科以及正在迅速发展的前沿学科，是模拟、延伸和扩展人的智能，实现某些脑力劳动自动化的技术基础。人工智能自 1956 年诞生以来，经过 50 多年的迅速发展，已取得了惊人的成就，引起了人们的高度重视，得到很高的评价，它与空间技术、原子能技术一起被誉为 20 世纪三大科学技术成就。

本章将首先介绍人工智能的基本概念以及人工智能的发展简史，然后简要介绍当前人工智能的主要研究方法、基本内容及其应用领域。

2035

2547





1.1 什么是人工智能

1.1.1 智能的概念

人工智能是用机器模拟、延伸和扩展人类的智能。因此，下面首先讨论人类的智能行为。

智能及智能的本质是古今中外许多哲学家、脑科学家一直在努力探索和研究的课题，但至今仍然没有完全解决。

近年来，随着脑科学、神经心理学等研究的进展，人们对人脑的结构和功能有了进一步认识，但对整个神经系统的内部结构和作用机制，特别是脑的功能原理还没有认识清楚，有待进一步的探索。因此，很难给出确切的智能定义。目前，根据对人脑已有的认识，结合智能的外在表现，从不同的角度、不同的侧面，用不同的方法对智能进行研究，人们提出了几种不同的观点，其中最具有代表性的观点有思维理论、知识阈值理论及进化理论等。

(1) 思维理论

它强调思维的重要性，认为智能的核心是思维，人的一切智能都来自大脑的思维活动，人类的一切知识都是人类思维的产物，因而通过对思维规律与思维方法的研究可望揭示智能的本质。

(2) 知识阈值理论

认为智能行为取决于知识的数量及其可运用的程度，一个系统之所以有智能是因为它具有可运用的知识。因此，知识阈值理论把智能定义为：智能就是在巨大的搜索空间中迅速找到一个满意解的能力。

(3) 进化理论

认为智能取决于感知和行为，取决于对外界复杂环境的适应，智能不需要知识、不需要表示、不需要推理，智能可以由逐步进化来实现。它是由美国麻省理工学院（MIT）的布鲁克（R. A. Brook）教授提出来的，这是他根据对人造机器虫的研究与实践提出的与众不同的观点。目前这一观点与人们的传统看法完全不同，因而引起了人工智能界的广泛关注。

综合上述各种观点，可以认为：智能是知识与智力的总和。其中，知识是一切智能行为的基础，而智力是获取知识并应用知识求解问题的能力。

1.1.2 人工智能

所谓人工智能就是人工的方法在机器（计算机）上实现的智能，或者说是人们使机器具有类似于人的智能。由于人工智能是在机器上实现的，因此，又称为机器智能。

关于“人工智能”的含义，早在它正式提出之前，就由英国数学家图灵（A. M. Turing）提出了。1950年图灵发表了题为“计算机与智能”（Computing Machinery and Intelligence）的论文，文章以“机器能思维吗？”开始，论述并提出了著名的“图灵测试”，形象地指出了什么是人工智能以及机器应该达到的智能标准，现在许多人仍把它作为衡量机器智能的准则。

为了让读者对人工智能的定义进行讨论，以便深刻地理解人工智能，下面综述几种关于

人工智能的定义。

定义 1.1 人工智能是一种使计算机能够思维,使机器具有智力的激动人心的新尝试 (Haugeland, 1985)。

定义 1.2 人工智能是那些与人的思维、决策、问题求解和学习等有关的活动的自动化 (Bellman, 1978)。

定义 1.3 人工智能是用计算模型研究智力行为 (Charniak & McDermott, 1985)。

定义 1.4 人工智能是研究那些使理解、推理和行为成为可能的计算 (Winston, 1992)。

定义 1.5 人工智能是一种能够执行需要人的智能的创造性机器的技术 (Kurzweil, 1990)。

定义 1.6 人工智能研究如何使计算机做事让人过得更好 (Rick & Knight, 1991)。

定义 1.7 人工智能是研究和设计具有智能行为的计算机程序,以执行人或动物所具有的智能任务 (Dean, Allen, Aloimonos, 2003)。

定义 1.8 人工智能是一门通过计算过程力图理解和模仿智能行为的学科 (Schalkoff, 1990)。

定义 1.9 人工智能是计算机科学中与智能行为的自动化有关的一个分支 (Luger & Stubblefield, 1997)。

人工智能是一门研究如何构造智能机器(智能计算机)或智能系统,使它能模拟、延伸、扩展人类智能的学科。通俗地说,人工智能就是要研究如何使机器具有能听、会说、能看、会写、能思维、会学习、能适应环境变化、能解决各种面临的实际问题等功能的一门学科。

1.2 人工智能的产生与发展

回顾人工智能的发展历史,可归结为孕育、形成和发展三个阶段。

1.2.1 孕育期

自古至今,人们就一直梦想用机器来代替人的部分脑力劳动,以提高人们征服自然的能力。其中对人工智能的产生、发展有重大影响的研究成果如下。

(1) 早在公元前,伟大的哲学家亚里士多德(Aristotle)就在他的名著《工具论》中提出了形式逻辑的一些主要定律,他提出的三段论至今仍是演绎推理的基本依据。

(2) 英国哲学家培根(F. Bacon)曾系统地提出了归纳法,这对于研究人类的思维过程,以及自20世纪70年代人工智能转向以知识为中心的研究都产生了重要影响。

(3) 德国数学家和哲学家莱布尼茨(G. W. Leibnitz)提出了万能符号和推理计算的思想,他认为可以建立一种通用的符号语言,以及在此符号语言上进行推理演算。这一思想不仅为数理逻辑的产生和发展奠定了基础,而且是现代机器思维设计思想的萌芽。

(4) 英国逻辑学家布尔(G. Boole)致力于使“思维规律”形式化和实现机械化,并创立了布尔代数。他在《思维法则》一书中首次用符号语言描述了思维活动的基本推理法则。



(5) 英国数学家图灵在 1936 年提出了一种理想计算机的数学模型, 即图灵机, 为后来电子数字计算机的问世奠定了理论基础。

(6) 美国神经生理学家麦克洛奇 (W. McCulloch) 与匹兹 (W. Pitts) 在 1943 年建成了第一个神经网络模型 (M-P 模型), 开创了微观人工智能的研究工作, 为后来人工神经网络的研究奠定了基础。

(7) 美国爱荷华州立大学的阿塔纳索夫 (Atanasoff) 教授和他的研究生贝瑞 (Berry) 在 1937 年至 1941 年间开发的世界上第一台电子计算机“阿塔纳索夫-贝瑞计算机 (Atanasoff-Berry Computer, ABC)”为人工智能的研究奠定了物质基础。

由上面的发展过程可以看出, 人工智能的产生和发展绝不是偶然的, 它是科学技术发展的必然产物。

1.2.2 形成期

1956 年夏季, 由当时达特茅斯大学 (Dartmouth) 的年轻数学家、现任斯坦福大学教授麦卡锡 (J. McCarthy) 联合他的三位朋友, 哈佛大学年轻数学家和神经学家、现任麻省理工学院教授明斯基 (M. L. Minsky), IBM 公司信息研究中心负责人洛切斯特 (N. Rochester), 贝尔实验室信息部数学研究员香农 (C. E. Shannon), 共同邀请普林斯顿大学的莫尔 (T. Moore) 和 IBM 公司的塞缪尔 (A. L. Samuel)、麻省理工学院的塞尔夫里奇 (O. Selfridge) 和索罗莫夫 (R. Solomonoff) 以及兰德 (RAND) 公司和卡内基-梅隆大学的纽厄尔 (A. Newell)、西蒙 (H. A. Simon) 等 10 名年轻学者在美国达特茅斯大学召开了一次为时两个月的学术研讨会, 讨论关于机器智能的问题。会上经麦卡锡提议正式采用了“人工智能”这一术语, 麦卡锡因而被称为人工智能之父。这是一次具有历史意义的重要会议, 它标志着人工智能作为一门新兴学科正式诞生了。此后, 美国形成了多个人工智能研究组织, 如纽厄尔和西蒙的 Carnegie RAND 协作组、明斯基和麦卡锡的 MIT 研究组、塞缪尔的 IBM 工程研究组等。

自这次会议之后的 10 多年间, 人工智能的研究在机器学习、定理证明、模式识别、问题求解、专家系统及人工智能语言等方面都取得了许多令人瞩目的成就, 主要研究成果有:

(1) 在机器学习方面, 1957 年 Rosenblatt 研制成功了感知机。这是一种将神经元用于识别的系统, 它的学习功能引起了科学家们广泛的兴趣, 推动了连接机制的研究, 但人们很快发现了感知机的局限性。

(2) 在定理证明方面, 美籍华人数理逻辑学家王浩于 1958 年在 IBM-704 机器上用 3 ~ 5min 证明了《数学原理》中有关命题演算的全部定理 (220 条), 并且还证明了谓词演算中 150 条定理的 85%; 1965 年鲁滨逊 (J. A. Robinson) 提出了归结原理, 为定理的机器证明做出了突破性的贡献。

(3) 在模式识别方面, 1959 年塞尔夫里奇推出了一个模式识别程序; 1965 年罗伯特 (Roberts) 编制出了可分辨积木构造的程序。

(4) 在问题求解方面, 1960 年纽厄尔等人通过心理学试验总结出了人们求解问题的思维规律, 编制了通用问题求解程序 GPS, 可以用来求解 11 种不同类型的问题。

(5) 在专家系统方面, 美国斯坦福大学的费根鲍姆 (E. A. Feigenbaum) 领导的研究小组自 1965 年开始专家系统 DENDRAL 的研究, 1968 年完成并投入使用。该专家系统能根据质谱仪的实验, 通过分析推理决定化合物的分子结构, 其分析能力已接近于甚至超过有关化学专

家的水平，在美、英等国得到了实际的应用。该专家系统的研制成功不仅为人们提供了一个实用的专家系统，而且对知识表示、存储、获取、推理及利用等技术是一次非常有益的探索，为以后专家系统的建造树立了榜样，对人工智能的发展产生了深刻的影响，其意义远远超过了系统本身在使用上所创造的价值。

(6) 在人工智能语言方面，1960年麦卡锡研制出了人工智能语言 LISP，成为建造智能系统的重要工具。

1.2.3 发展期

进入20世纪70年代，许多国家都开展了人工智能的研究，涌现出了大量的研究成果。例如，1972年法国马赛大学的科麦瑞尔(A. Comerauer)提出并实现了逻辑程序设计语言 PROLOG，斯坦福大学的肖特利夫(E. H. Shortliffe)等人从1972年开始研制用于诊断和治疗感染性疾病的专家系统 MYCIN。

但是，和其他新兴学科的发展一样，人工智能的发展道路也不是平坦的。例如，机器翻译的研究没有像人们最初想象得那么容易。实际上，由机器翻译出来的文字有时会出现十分荒谬的错误。例如，当把“眼不见，心不烦”的英语“Out of sight, out of mind”翻译成俄语时变成“又瞎又疯”；当把“心有余而力不足”的英语句子“The spirit is willing but the flesh is weak”翻译成俄语，然后再翻译回来时竟变成了“The wine is good but the meat is spoiled”，即“酒是好的，但肉变质了”；当把“光阴似箭”的英语句子“Time flies like an arrow”翻译成日语，然后再翻译回来的时候，竟变成了“苍蝇喜欢箭”。在其他方面，如问题求解、神经网络、机器学习等也都遇到了困难，使人工智能的研究一时陷入了困境。

人工智能研究的先驱者们认真反思，总结了前一段研究的经验和教训。1977年费根鲍姆在第五届国际人工智能联合会议上提出了“知识工程”的概念，对以知识为基础的智能系统的研究与建造起到了重要的作用。大多数人接受了费根鲍姆关于以知识为中心展开人工智能研究的观点。从此，人工智能的研究又迎来了以知识为中心的蓬勃发展的新时期。

这个时期，专家系统的研究在多种领域中取得了重大突破，各种不同功能、不同类型的专家系统如雨后春笋般地建立起来，产生了巨大的经济效益及社会效益。例如，地矿勘探专家系统 PROSPECTOR 拥有15种矿藏知识，能根据岩石标本及地质勘探数据对矿藏资源进行估计和预测，能对矿床分布、储藏量、品位及开采价值等进行推断，制定合理的开采方案，应用该系统成功地找到了超亿美元的钼矿。专家系统 MYCIN 能识别51种病菌，正确地处理23种抗菌素，可协助医生诊断、治疗细菌感染性血液病，为患者提供最佳处方，该系统成功地处理了数百病例，并通过了严格的测试，显示出了较高的医疗水平。美国 DEC 公司的专家系统 XCON 能根据用户要求确定计算机的配置，由专家做这项工作一般需要3小时，而该系统只需要0.5分钟，速度提高了300多倍。DEC 公司还建立了另外一些专家系统，由此产生的净收益每年超过4000万美元。信用卡认证辅助决策专家系统 American Express 能够防止不应有的损失，据说每年可节省2700万美元左右。

专家系统的成功，使人们越来越清楚地认识到知识是智能的基础，对人工智能的研究必须以知识为中心来进行。由于对知识的表示、利用及获取等的研究取得了较大的进展，特别是对不确定性知识的表示与推理取得了突破，建立了主观 Bayes 理论、证据理论等，对人工智能中模式识别、自然语言理解等领域的发展提供了支持，解决了许多理论及技术上的问题。



人工智能在博弈中的成功应用也令人举世瞩目。人们对博弈的研究一直抱有极大的兴趣，早在 1956 年人工智能刚刚作为一门学科问世时，塞缪尔就研制出了跳棋程序。这个程序能从棋谱中学习，也能从下棋实践中提高棋艺，1959 年击败了塞缪尔本人，1962 年又击败了一个州的冠军。1997 年 5 月，IBM 公司研制的“深蓝”计算机，以 3.5:2.5 的比分，首次在正式比赛中击败国际象棋棋王卡斯帕罗夫 (Kasparov)，在世界范围内引起轰动。这标志着在某些领域，经过努力，人工智能系统可以达到人类的最高水平。

我国自 1978 年开始进行人工智能课题的研究，并在 1981 年成立了中国人工智能学会 (CAAI)，目前在专家系统、模式识别、机器人学及汉语的机器理解等方面都取得了研究成果。

1.3 人工智能的研究方法及基本内容

1.3.1 人工智能的研究方法

人工智能的研究和传统的计算机程序设计在很多方面有所不同。从研究对象上看，人工智能系统是以符号表示知识，并以知识为主要研究对象，而传统的程序是以数值为研究对象，这说明了知识在人工智能中的重要性。知识是一切智能系统的基础，任何智能系统的活动过程都是一个获取知识和运用知识的过程。

由于人们对人工智能本质的不同理解和认识，形成了人工智能研究的多种不同的路径。不同的研究路径有不同的研究方法、不同的学术观点，形成了不同的研究学派。目前在人工智能界的主要研究学派有符号主义、行为主义和联结主义等学派。

1. 符号主义学派

符号主义又称逻辑主义、心理学派或计算机学派，其理论基础是物理符号系统假设和有限合理性原理。著名哲学家 Searle 认为，我们由什么构成直接影响着我们的智能，思考仅发生在那些十分特殊的机器上，即有生命且由蛋白质构成的机器上。这一观点指出了智能的存在依赖于类似人类的生理机能。与 Searle 的观点相反，Newell 和 Simon 指出了物理符号系统是类似数字计算机的机器，具备灵活处理符号数据的能力。所谓符号就是模式。任何一个模式，只要它能够和其他模式相区别，它就是一个符号。不同的英文字母就是符号。对符号进行操作就是对符号进行比较，找出哪几个符号是相同的符号，哪几个符号是不同的符号。物理符号系统的基本任务就是辨认相同的符号和区分不同的符号。

物理符号系统假设的重要性之一就是它指出了这种物理符号系统由什么构成并不重要。这一假设完全是中性的。一个智能实体能处理符号，它可以由蛋白质、半导体或其他材料构成，如人的神经系统、计算机系统等。因为计算机具有符号处理的推算能力，这种能力本身就蕴涵着演绎推理的能力，因此可以通过运行相应的程序来体现出某种基于逻辑思维的智能行为。故计算机可以看做是一种理想的物理符号系统，物理符号系统假设实际上也肯定了如下信念：计算机能够具有人的智能。



符号主义的代表性成果是 Newell 和 Simon 等人研制的“逻辑理论家”的数学定理证明程序 LT。以符号主义的观点看,知识表示是人工智能的核心,认知就是处理符号,推理就是采用启发式知识及启发式搜索对问题的求解过程,而推理过程又可以用某种形式化的语言来描述。符号主义主张用逻辑的方法来建立人工智能的统一理论体系,但是其中包含“常识”问题以及不确定事物的表示和处理问题,因此,受到其他学派的批评。

尽管不是所有人都支持物理符号系统假设,大多数被称为“经典的人工智能”却是在此指导下产生的。这类方法的突出特点是将逻辑操作应用于说明性知识库中,即用说明性的语句来表达问题领域的“知识”,这些语句基于或实际上等同于一阶逻辑中的语句,采用逻辑推导可以对这种知识进行推理。当遇到实际领域中的问题时,使用该方法则要求具有问题领域的足够的知识,以对该领域的问题进行处理,这通常称为基于知识的方法。在大多数符号处理方法中,对需求行为的分析和为完成这些行为所做的工作要经过几个阶段。最高阶段是知识阶段,也就是知识层次,机器所需的知识在这里说明。接下来是符号阶段,即表示层次,其中,知识以符号组织表示,同时在此说明其操作。然后就是实现阶段,实施对符号的处理。

2. 行为主义学派

行为主义又称为进化主义或控制论学派,是基于控制论和“感知-动作”型控制系统的人工智能学派,属于非符号处理方法。持有这种观点的人认为:人的智能经过了在地球上十亿年甚至是更长时间的进化,而制造出真正的机器,也必须沿着这些进化的步骤走。他们认为机器是由蛋白质还是由各种半导体构成是无要紧要的,智能行为是由所谓的“亚符号处理”(即“信号处理”)而不是“符号处理”产生的。如识别熟悉的人的面孔,对人来说易如反掌,但是对机器就很困难,最好的解释就是人类把图像或图像的各个部分作为多维信号(而不是符号)来处理的。因此,我们应该以复杂的现实世界为背景,研究简单动物如昆虫的信号处理能力并模拟和复制,沿着进化的阶梯向上进行。这一方案不仅能在短期内制造出实用的人造物,而且能为更高级的智慧的建立打下坚实的基础。

行为主义方法在最低阶段采用信号的概念。在 1991 年 Brooks 提出了无需知识表示的智能和无需推理的智能。他认为智能只是在与环境的交互作用中才表示出来,不应采用集中式的模式,而是需要具有不同行为的模块与环境交互,以此来产生复杂的行为。基于行为主义的基本观点可以概括为以下几点。

- ① 知识的形式化表达和模型化方法是人工智能的重要障碍之一。
- ② 智能取决于感知和行动,应直接利用机器对环境作用,以环境对作用的响应为原型。
- ③ 智能行为只能体现在世界中,通过与周围环境交互而表现出来。
- ④ 人工智能可以像人类智能一样逐步进化,分阶段发展和增强。

这种基于行为的观点开辟了人类智能研究的新途径。以这些观点为基础,Brooks 研制出了一种机器虫,用一些相对独立的功能单元,分别实现避让、前进、平衡等功能,组成分层异步分布式网络,取得了一定的成功,特别是为机器人的研究开创了一种新的方法。尽管有人认为机器虫在行为上的成功并不能导致高级控制行为,但是该学派的兴起,表明了控制论、系统工程的思想将进一步影响人工智能的发展。

3. 联结主义学派

以网络连接为基础的联结主义是近年来研究得比较多的一种方法,也属于非符号处理方



法。这种方法研究能够进行非程序的、可适应环境变化的、类似人类大脑的信息处理方法的本质和能力，是基于神经网络及网络间的联结机制和学习算法的人工智能学派。持这种观点的人认为：大脑是一切智能活动的基础，因而从大脑神经元及其联结机制出发进行研究，搞清楚大脑的结构以及它进行信息处理的过程和机理，有望揭示人类智能的奥秘，从而真正实现人类智能在机器上的模拟。

联结主义研究非程序的、适应性的、类似大脑的信息处理的本质和能力。人们也称它为神经计算。由于它近年来的迅速发展，大量的神经网络的机理、模型、算法不断地涌现出来。神经网络主体是一种开放式的神经网络环境，提供典型的、具有实用价值的神经网络模型。

该方法的主要特征主要表现在：以分布式的方式存储信息，以并行方式处理信息，具有自组织、自学习能力，适合于模拟人的形象思维，可以比较快地得到一个近似解。正是这些特点，使得神经网络为人们在利用机器加工处理信息方面提供了一个全新的方法和途径。但是这种方法不适合模拟人们的逻辑思维过程，并且人们还发现，已有的模型和算法也存在一定的问题，理论上的研究也有一定的难点，因此单靠联结机制解决人工智能的全部问题也是不现实的。但是，随着深入、广泛的研究，将会克服这些困难，对神经网络的研究将会不断发展。

联结主义的代表性成果是1943年W. S. McCulloch和W. Pitts提出的一种神经元的数学模型，开创了神经计算的时代，为人工智能创造了一条用电子装置模拟人脑结构和功能的新的途径。从此以后，神经网络理论和技术研究不断发展，并在图像处理、模式识别等领域产生重要突破，这些都为实现联结主义的智能模拟创造了条件。

目前，符号处理系统和神经网络模型的结合是一个重要的研究方向。以上三种研究从不同侧面研究了人的自然智能，与人脑的思维模型有着对应的关系。

1.3.2 人工智能研究的基本内容

人工智能有多种研究领域，各个研究领域的研究重点也不相同。另外，在人工智能的不同发展阶段，研究的侧重面也有区别；那些本来是研究重点的内容，一旦理论上及技术上的问题都得到解决，就不再成为研究内容。因此，我们只能在较大的范围内讨论人工智能的基本研究内容。结合人工智能的远期目标，可以认为人工智能的基本研究内容包括以下几个方面。

1. 知识表示

世界上每一个国家或民族都有自己的语言和文字，它是人们表达思想、交流信息的工具，促进了人类的文明及社会的进步。人类语言和文字是人类知识表示的最优秀、最通用的方法，但人类语言和文字的知识表示方法并不适合于计算机处理。人类智能研究的目的是要建立一个能模拟人类智能行为的系统。为达到这个目的，就必须研究人类智能行为在计算机上的表示形式，只有这样才能把知识存储到计算机中去，以解决现实问题。

知识表示就是将人类知识形式化或者模型化，它是对知识的一种描述，或者说是一组约定，一种计算机可以接受的、用于描述知识的数据结构。对于知识表示方法的研究，离不开知识的研究与认识。由于目前对人类知识的结构及机制还没有完全搞清楚，因此关于知识表示的理论及规范还没有建立起来。但是，人们在对智能系统的研究和建立过程中，还是结合